

四国沿岸における平均潮位の変動について*

佐藤 久**

550.341

Variation of Mean Tide Level Around the Coast of Shikoku Island

H. Sato

(Takamatsu Local Meteorological Observatory)

The various influences such as meteorological and oceanographical on the tide level were derived by statistical method from observed data at each tidal observation station scattered along the coast of Shikoku Island shown in Fig. 5 and Table 1.

As a result of elimination of these influences from observed tides, following facts are found.

1) Earthtilting caused by the Nankaido earthquake of 21st. Dec. 1946 ceased in 1950 for a while.
2) Tidal level tendency for long years along the coast of Shikoku Island, shows such a regular one as shown in Fig. 4, and the highest ascending area of tide-level is in Hiuchinada coast, the most descending area of tide-level is in coast of Tosa Bay.

3) The variation of the sea level of each year is shown in Figs. 6, 7 and 8. It was made from difference of the mean sea level of Shikoku Island in 1957. and the mean sea level of each year.

§ 1. ま え が き

潮位の観測から地盤の垂直変動を知ろうとする場合には、気象学的、海洋学的原因によっておこる潮位の不規則変化を取りのぞかねばならない。

これには大別して二つの方法が考えられている。その1は地盤変動域にくらべてより広い範囲で気象学的、海洋学的原因による不規則変化が共通しているという考えのもとに、潮位変化の類似した Group ごとに異常潮の平均を求め、それを個々の潮位から引去る方法である。

その2に潮位と気圧、水温、風、降水等との関係を統計的に求め、これから潮位の年周変化を推定する方法である。

1950年ころまでの四国沿岸の潮位変動については河角広博士が第1の方法を適用して解析されており¹⁾、また佐野渡氏は愛知県沿岸の検潮所について上記2方法を適用して比較し、目的によっては第1の方法がすぐれていることを示している²⁾。また津村建四朗氏は第1の方法による潮位の共通変化域を実際にしめし、その域内

での平均潮位の差から地震に伴う地盤変動の状態を研究し注目すべき結果を得ている³⁾。第2の方法では清水曠氏の気圧、風向速、降水、水温との相関について求めたものがある⁴⁾。

本調査では四国沿岸に散在する潮位観測所の資料と気圧、水温、海水密度との関係を統計的に求め、それによって補正された平均海面の変動についてとりあつかったもので南海道地震(1946 Dec. 21)以後の地盤変動および北四国沿岸における近年の潮位上昇の現象について調査しようとしたものである。

四国沿岸には県、建設省、気象庁関係の潮位観測所20数か所が散在しているが、そのうち精度の良いもので比較的観測期間の長いものを選んだ結果、第1表に記したような11か所の資料を使用することとした。それぞれの場所は Fig. 5を参照されたい。

§ 2. 相関法による潮位補正

潮位の年週変化は主として気圧、水温、海水密度の影響によるものと考え、瀬戸内側では多度津の水温、密度と高松の潮位、気圧の関係、太平洋側では清水の潮位、気圧水温、密度のそれぞれ相関関係を求める。計算に用

* Received Feb. 3, 1960.

** 高松地方気象台

Table 1. Tidal Observations.

	Name	Station		Management	Tide gauge	Term
		°E	°N			
A	Komatsujima	134.6	34.0	Meteorological Agency	Fuess	1951*~1957
B	Toyomasu	134.7	33.9	Construction Department	Screw	1950*~1957
C	Takamatsu	134.1	34.3	Meteorological Agency	Fuess	1946*~1957
D	Niihama(1)	133.3	33.9	Niihama City Office	Screw	1951*~1957
E	Niihama(2)	133.3	33.9	Sumitomo K. K.	Richard	1951*~1957
F	Matsuyama	132.7	33.8	Meteorological Agency	Fuess	1951*~1957
G	Guntsu	132.7	33.7	Ehime Prefectural Office	Richard	1949*~1957
H	Uwajima	132.6	33.3	Meteorological Agency	Fuess	1946~1957
I	Shimizu	132.9	32.7	Meteorological Agency	Kelvin	1946~1957
J	Kochi(1)	133.5	33.6	Meteorological Agency	Fuess	1950*~1957
K	Kochi(2)	133.5	33.5	Construction Department	Fuess	1951*~1957

Remark : Mark * shows the year coincidence observation have begun.

いた統計期間は、南海道地震後の変動期をのぞいた1950年1月より1957年12月までの96か月である。

潮位を x , 気圧 y , 水温 z , 密度 t とし, それらの年平均値を \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , \bar{t} とすると, x に関する y, z, t の回帰平面の方程式は

$$x - \bar{x} = P(y - \bar{y}) + T_w(z - \bar{z}) + \rho(t - \bar{t}) \dots (1)$$

であらわされる。

いま x, y, z, t の間の単相関係数をそれぞれ $r_{xy}, r_{xz}, r_{xt}, r_{yz}, r_{yt}, r_{zt}, \dots$ とすると, それらを元素とする行列式 R は

$$R = \begin{vmatrix} r_{xx} & r_{yx} & r_{zx} & r_{tx} \\ r_{xy} & r_{yy} & r_{zy} & r_{ty} \\ r_{xz} & r_{yz} & r_{zz} & r_{tz} \\ r_{xt} & r_{yt} & r_{zt} & r_{tt} \end{vmatrix}$$

より $r_{xx}, r_{xy}, r_{xz}, r_{xt}$ の余因数をそれぞれ $R_{xx}, R_{xy}, R_{xz}, R_{xt}$ とすると, (1) 式の偏回帰係数 P, T_w, ρ は最小自乗法により

$$P = -\frac{\sigma_x R_{xy}}{\sigma_y R_{xx}}, T_w = -\frac{\sigma_x R_{xz}}{\sigma_z R_{xx}}, \rho = -\frac{\sigma_x R_{xt}}{\sigma_t R_{xx}}$$

であらわされる。

こゝに $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_t$ は x, y, z, t の標準偏差である。またこの P, T_w, ρ をそれぞれ気圧係数, 水温係数, 密度係数と呼ぶことにする。

(1) 式で求められる $x - \bar{x}$ の標準偏差 $S^2_{x.yzt}$ は

$$S^2_{x.yzt} = \sigma_x^2 \frac{R}{R_{xx}}$$

また重相関係数は

$$r_{x.yzt} = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{xx}}}$$

偏相関係数は

$$r_{xy.zt} = -\frac{R_{xy}}{\sqrt{R_{xx} \cdot R_{yy}}}, r_{xz.yt} = -\frac{R_{xz}}{\sqrt{R_{xx} \cdot R_{zz}}}$$

Table 2. Numerical result concerning the correlation between P, T_w and ρ .

	Shimizu	Takamatsu
∂_x	11.15	14.22
∂_y	4.44	4.73
∂_z	3.71	6.94
∂_t	0.58	0.59
r_{xy}	-0.748	-0.814
r_{xz}	0.868	0.890
r_{xt}	-0.614	-0.476
r_{yt}	-0.675	-0.806
r_{yz}	0.508	0.577
r_{ty}	-0.634	-0.399
$r_{x.yzt}$	0.540	0.631
$r_{xy.zt}$	0.437	0.250*
$r_{xz.yt}$	-0.686	-0.665
$r_{xt.yz}$	0.084**	0.130**
$S^2_{x.yzt}/\sigma^2$	0.705	0.602
P cm/mb	-0.724	-0.628
T_w cm/°C	1.890	1.380
ρ cm	-0.985	-1.675

Remarks : The marks ** and * indicate that the respective null-hypothesis of $r=0$ does not reach on the significance level of 5%, and is irreferable to its significance on the level of 5%. The others indicate to be very significant.

Table 3. Total correction which should be applied in order to cancel the secular variation.

Station	Year	1946	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
	Side of Setouchi (Takamatsu) cm		0.2	3.0	2.1	0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-0.9	-2.4	-0.9	0.1
Side of Pacific Ocean (Shimizu) cm		-0.3	6.4	0.5	1.0	-1.0	-1.6	-0.7	0.5	-1.7	-0.9	-0.2	0.2

$$r_{xt,yz} = -\frac{R_{xt}}{\sqrt{R_{xx} \cdot R_{tt}}}$$

より計算される。

各相関係数の有意性の検定には t -分布より

$$t = \sqrt{N-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} = 9.69 \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$$

を用いた。

このようにして求められた数値を示せば Table 2 のようになる。

Table 2 からわかるように気圧係数 P は静力学的に求められた値。

$$P = 0.990 \text{ cm/mb}$$

に比較して、清水、高松とも若干小さい。水温、密度の影響も無視することはできない。

このようにして求められた潮位補正係数 P , T_w , ρ はそれぞれ高松に近い検潮所、清水に近い検潮所に対して共通なものと考え、前者にぞくする group として、小松島、豊益、新居浜 (1) (2), 後者にぞくする group として松山、郡中、宇和島、高知 (1) (2) に分けられる。

このような分類は実際の潮位変化の類似から区別したものと同一となるので合理的な方法であるとおもう。

§ 3. 補正潮位の永年変化

補正された月平均潮位の年平均値についてさらに気圧、水温、密度の永年変化にともなう変動を補正しなければならぬ (Fig. 1 参照)。

さきに求めた係数 P , T_w , ρ より年平均潮位にほどこすべきそれぞれの永年変化の補正值の合計は Table 3 に示すとおりとなる。

Fig. 2 は各地の年平均潮位の変化図ですでに補正されたものを Plot してあるが、Table 3 からわかるように補正值の合計は南海道地震後 2、3 年はプラスであるがマイナスが続いている。

なお、天文学的に考えられる潮位の周期的変化については、週期 18.6 年その西日本での潮高は 0.8cm 以下などの結果が報告されており⁹⁾、ここでは無視してさしつ

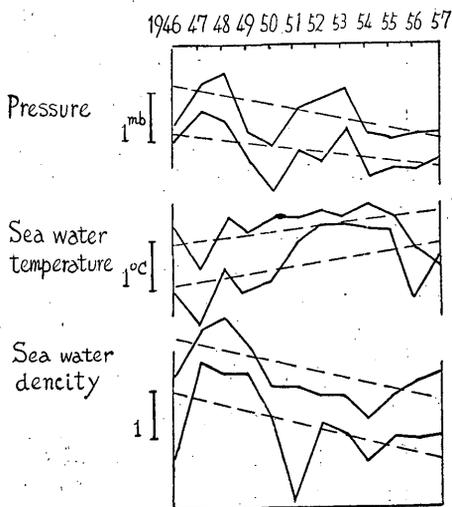


Fig. 1. Secular variation of pressure, sea water temperature and sea water density, upper line showing Takamatsu, lower line Shimizu in each element.

かえないとして計算に入れなかった。

このようにして補正された潮位の永年変化をみると、大部分が 1950 年以後に観測が始められているが、それ以前の観測値のあるところと比較して、1950 年ころを境としてその状態が変わっていることに気がつく。すなわち南海道地震後 1950 年ころまでの潮位上昇期間とそれからあとの比較的変動の小さい期間に分けられる。

1950 年ころまでの潮位上昇期間については「四国地方地盤変動調査報告書⁹⁾」にくわしく述べられているが、その結論に述べているように、1950 年を境として沈下速度が小さくなるかまたは逆に回復に向っている事実から、南海道地震の影響による地盤沈下に対する危惧は一応去ったとみてよい。

また宇和島ではこの間潮位の年平均上昇率 4.5 cm、高松では約 5 cm であって高松付近での潮位上昇率が大きかったこと、またこの間に高知付近の隆起域を除いて四国全体がゆりしずみ的に沈下したことが想像される。

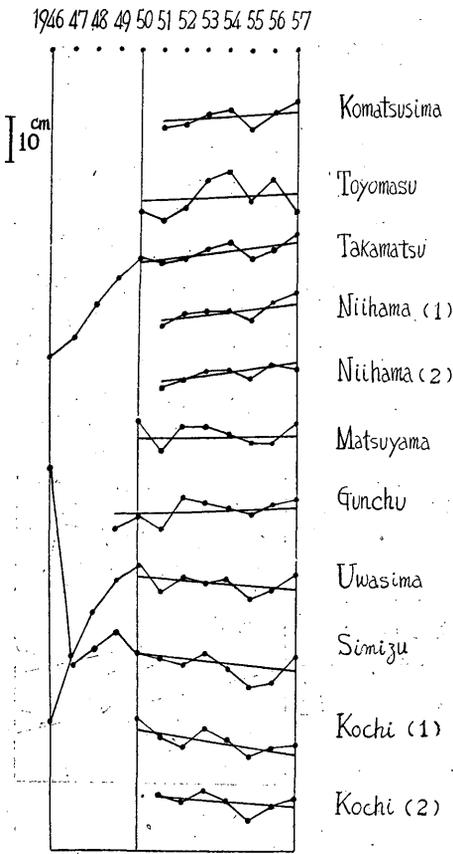


Fig. 2. Secular variation of yearly mean sea-level.

この1950年前後の潮位変換期をさらにくわしくみるため清水、宇和島、郡中、高松の補正された月平均潮位をつくってその変動をみると、Fig. 3からわかるように最高潮位の起った時期は、清水では1949年春、宇和島では1950年夏、郡中で同じく1950年夏ころ、高松で1950年秋であることがわかる。つまり南海道地震による地盤変動は清水付近で最も早くおさまり、次に宇和島、高松と順次北上していったのではないかと考えられる。この最高潮位線北上の傾向は Fig. 7の等潮位線の移動からも1947年以後ひきつゞき北上していったことがわかる。

§ 4. 補正潮位の永年変化

郡中港では1949年以降、小松島、新居浜(1)(2)、高知(1)(2)では1951年以降、その他のところでは1950年以降の補正された年平均潮位の永年変化の傾向を

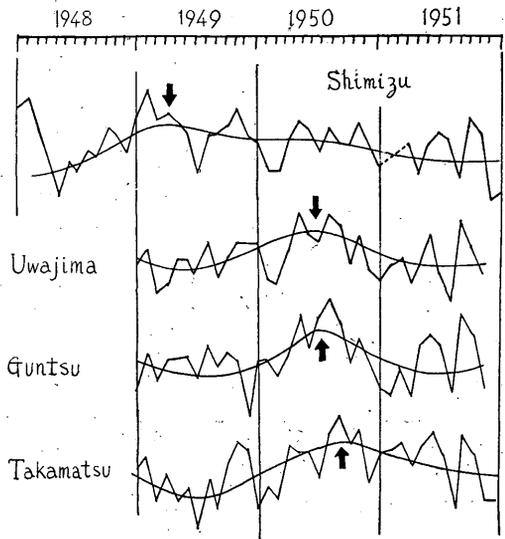


Fig. 3. Variation of corrected monthly mean sea-level.

Table 4. Numerical result of coefficient α and dispersion S etc. on linear equations of tide tendency.

Station	α cm/year	S cm	L_0 cm	Term
Komatsujima	+0.16	4.1	193	1951~57
Toyomasu	+0.08	12.5	215	50~57
Takamatsu	+0.64	3.5	186	50~57
Niihama (1)	+0.66	1.5	252	51~57
Niihama (2)	+0.68	1.6	288	51~57
Matsuyama	+0.13	5.9	233	50~57
Guntyu	+0.34	12.4	178	49~57
Uwajima	-0.43	4.5	123	50~57
Shimizu	-0.60	4.6	130	50~57
Kochi (1)	-0.75	4.3	125	50~57
Kochi (2)	-0.51	1.7	115	51~57

一次式

$$L=L_0+\alpha t \quad (t: \text{年})$$

であらわし、各検潮所の α , L_0 , および分散 S を計算すると Table 4 のようになる。

このような潮位変化係数 α は一見して地理的にまとまった分布をしているようにみえるので、いま横軸に高知を基点として西まわりに四国沿岸に沿う距離をとり、縦軸に α をとって Plot すると Fig. 4 が得られる。

すなわち α に比較的なめらかな曲線上によくのっており、新居浜、高松の中間沿岸付近で α は正の最大、

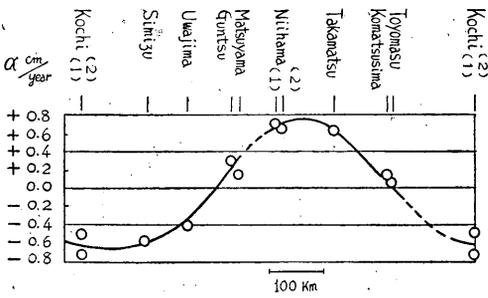


Fig. 4. Distribution of α along the coast of Shikoku Is. (1)

高知西方沿岸で負の最大となっており、その間の沿岸でも局地的変化は少ないとみてよい。問題は適当な検潮所のない室戸岬および高縄半島の運動であるが、室戸岬付近では1950年以前には東大震研によってしばしば傾斜観測が実施されたが、それ以後については室戸岬は地質的にも同じである足摺岬と同じ運動を続けているものと解釈されるから、現在若干上昇しつつあると考えると潮位傾向は負となり、傾向としては上記の曲線に一致する。高縄半島先端には波止浜に県土木出張所の潮位観測所があるが観測期間短かつ資料不正確であるのは残念である。

Fig. 4の結果から α の水平分布図をつくると Fig. 5 が得られる。これらの図からわかるように $\alpha=0$ の位置は四国西岸では松山よりやや南方佐多岬付近、四国東岸では小松島よりやや南より、蒲生田岬付近とみられ、この両地を結ぶ線を境として北四国沿岸では $+\alpha$ でその最大は燧灘東部沿岸にある。また南四国沿岸で $-\alpha$ でその最大は土佐湾北西部沿岸に相当する。

佐野凌一氏は日本沿岸の各地の平均潮位の永年変化を取り扱ったさい、このような潮位の永年変化の傾向が、西

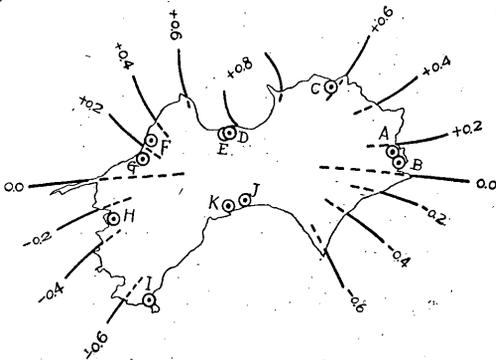


Fig. 5. Distribution of α along the coast of Shikoku Is. (2)

日本と東日本で相異なることを指摘し、その機構が流速の変化等による海洋学的原因によるものであろうと述べている⁶⁾。また宮崎正衛氏が西日本の潮位の変動について研究された結果によれば⁷⁾ 1) 潮位の永年変化の傾向および不連続的な変化は、主として地盤変動によっておこる。しかし年々の変化については地盤変動との関係は断言できない。2) 潮位変化から進行的変化を差引いた残差は主として海水密度、気圧および海流の変化の影響としてほぼ説明される、といっている。

四国沿岸の場合、豊予海峡および紀伊水道を北上して瀬戸内海に侵入した黒潮の合流地点が燧灘東部であること、しかもこの付近で大潮差が最大であることと何らかの関係がありそうである。

また燧灘沿岸は地質学的に四国を東西に走る中央構造線がこの海岸と一致しているところで、その北方には阿讃山脈の北麓を東西に走る断層が燧灘に没し、それら二つの断層によって階段状地形をなしていることが沈降海岸といわれる理由であり、したがってそれは潮位上昇の直接の原因であるといつてよい。

一方水準測量改測の結果⁸⁾ によると高知平野西部では南海道地震によって最大沈下を示したが、その翌年から逆に上昇をはじめ現在もなおその状態がついているらしい。この高知平野および室戸足摺半島の諸南海道地震にともなう顕著な沈下隆起の相対運動は、慣習的地盤変動として知られている。

潮位永年変化の機構は上述のような原因が考えられるが、それが果して地盤変動によるものか否かは、四国全域にわたる水準測量の改測によって裏づけられるべきである。南海道地震の翌年全国にわたり水準測量が実施されたがそれから後には局部的に実施されたことはあるが、それだけではその付近の相対的運動はわかるが、それと検潮所の潮位を対比させることは困難であり、かつ短期間内の水準変動と潮位とは必ずしも一致しないので、ここに取り扱った調査期間内の潮位変動を、水準測量によって検証することはいまのところ困難である。

§ 5. 各年の連続的の海水面の変動

各検潮所で測定された平均海面の高さから、四国周辺の海面の連続的な変動の模様を知ろうとする場合、読みとり基準面 D. L. は各検潮所ごとに異っているから、東京湾中等潮位からの高さに換算して比較するのが適当である。ところが水準測量は南海道地震後1回なされたのみで、その後地盤変動により毎年変動しているため、実際に東京湾中等潮位からの高さの分布をつくると Fig.

4に似たものが得られる。

このままでは比較しがたいので、便宜上1957年の海水面の高さを基準として、それと毎年の潮位の高さの差をとり四国沿岸に沿う分布をみる。こうして作ったのがFig. 6である。この図から各年の海水面と1957年の海水面を0とする線の交点は、年によって変らない一定の高さの位置であるから、その交点を結ぶ線を軸として海水面の変動がみられるわけである。

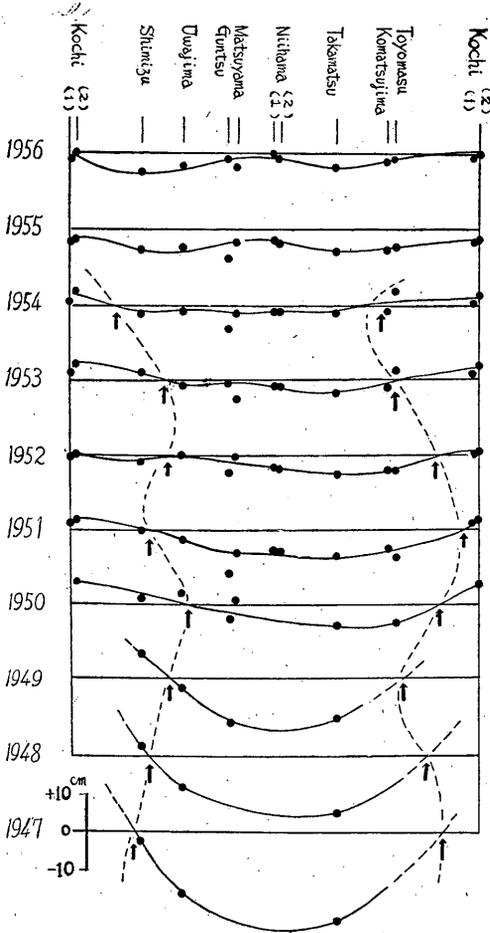


Fig. 6. Distribution of sea-level along the coast of Shikoku Is. in every year.

Fig. 6に相当する各年の等潮位線を作ると、Fig. 7のようになる。この図からわかるように海水面節線は、1947年の土佐湾をかこむような位置から次第に拡がりつつ北上して、1949年には宇和島、清水間の沿岸から蒲生田岬付近まで達した。その間、潮位傾斜も次第に平衡に

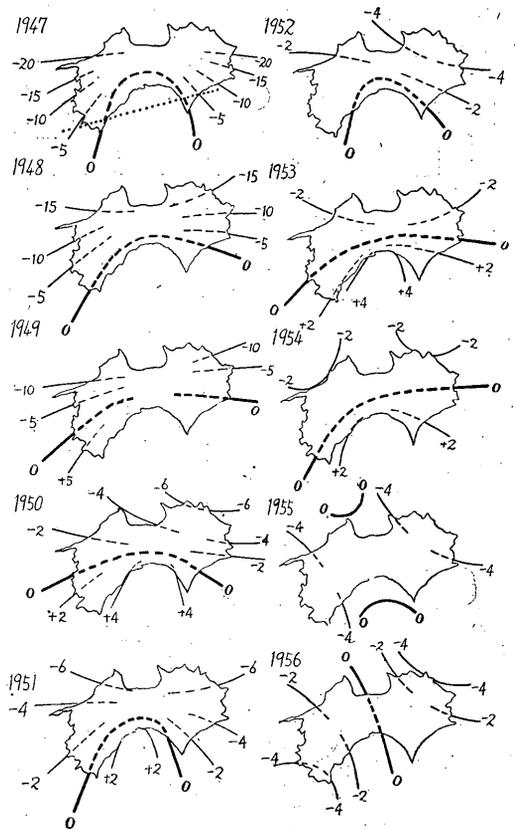


Fig. 7. Horizontal distribution of sea-level along the coast of Shikoku Is. in every year.

近づき1950年には安定の位置に達したことがわかる。節線はさらに1951、2年と狭くなり、土佐湾付近に限られたが1953、4年にはまた拡がりつつ東西に振動しながら1958、9年には節線は沿岸からはなれて土佐湾南方、篠灘中部に出ていったことがわかる。

Fig. 7の1947年の図の点線は、1946年12月21日の南海道地震に伴う地盤変動の節線であって、この地殻の節線と潮位面の節線は、もちろん一致しているべきであるが、もし内陸でのこのような節線と海水面節線が結びつけられるとするならば、図の破線で示されたような陸地内の変動が想像されるであろう。

Fig. 8には潮位の前年との差の分布図もかかげた。各所とも1956、7年にかけての潮位上昇量が目立ち、とくに新居浜、高松付近で大きいことがわかるであろう。

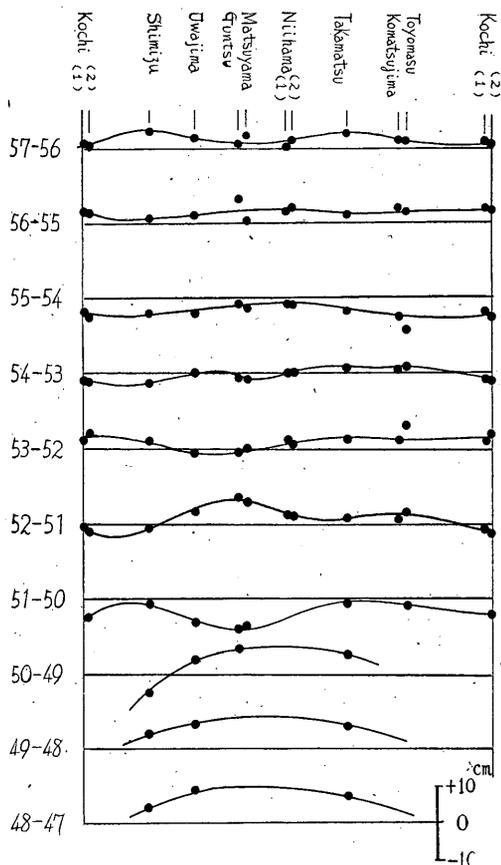


Fig. 8. Distribution of tide level difference of every adjacent two years.

§ 6. 結 語

以上のようにして平均潮位の観測から気象潮、海洋潮などの異常潮汐をのぞいたものについて解析検討したわけであるが、結果を要約すれば次のようである。

1. 補正された潮位の年変化は1950年を境として、そ

れ以前では潮位の急激な上昇が続いたが、1950年以後は緩やかな上昇または下降にかわつた。すなわち南海道地震の影響による地盤変動は1950年をもって終つた。

2. 1950年以降の年平均潮位の変化率は、四国沿岸について対称的に分布し、豊予海峡の佐田岬、紀伊水道蒲生田崎付近で零で、巖灘沿岸で最大上昇域、土佐湾北西岸で最大下降域があらわれている。

3. 1957年の四国周辺の年平均潮位を基準とした毎年の潮位偏差から、節線の振動状況および潮位傾斜を知ることができ、それは年によって異り、節線の北上南下および東西への週期的振動などがみられる。

最後に、この調査の機会をあたえられた野口台長、いろいろ批判していただいた観測課各位、および資料を提供していただいた関係各位に対し厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1), 6) 四国地方地盤変動調査報告書：第1～10輯，1956, Oct.
- 2) 佐野凌一：愛知県沿岸の年平均潮位の変化，地震，5, No. 4 (1952), p. 19.
- 3) 津村建四朗：平均潮位の差から求めた地殻変動の研究，地震，10, No. 5 (1957), p. 68.
- 4) T. Shimizu: On the variation of the monthly mean Sea-level, Bulletin of the Geographical Survey Institute. 2, Part 1 (1950), p. 1.
- 5), 8) 宮崎正衛：年平均潮位の永年変化について，中央気象台海洋報告，3 (1953), p. 55.
- 7) 佐野凌一：月平均潮位の年週変化について地震，5, No. 4 (1952), p. 115.
- 9) 地理調査所：一等水準点検測成果集録，No. 1 (1955), Mar.